

(19) BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

# Offenlegungsschrift

(17) DE 196 53 477 A 1

(21) Aktenzeichen: 196 53 477.1  
(22) Anmeldetag: 20. 12. 96  
(30) Offenlegungstag: 25. 6. 98

(51) Int. Cl. 6:  
**D 21 C 5/02**

D 21 H 23/78  
G 01 N 21/62  
G 01 J 3/00  
D 21 F 7/00  
D 21 B 1/32  
// G01N 21/55,21/59,  
15/02

DE 196 53 477 A 1

(71) Anmelder:  
Siemens AG, 80333 München, DE

(72) Erfinder:  
Roth, Christoph, Dr., 81739 München, DE;  
Furumoto, Herbert, Dr., 91052 Erlangen, DE; Zeiner,  
Gerhard, Dipl.-Ing., 70563 Stuttgart, DE; Lampe,  
Uwe, Dr., 21614 Buxtehude, DE

(55) Entgegenhaltungen:

DE 1 95 10 009 A1  
DE 1 95 10 008 A1  
WO 95 31 709 A1  
WO 93 15 389 A1

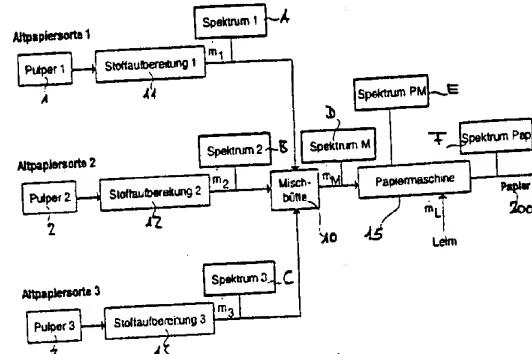
CEPAMAT-Ein Automatisierungssystem für die Zell-  
stoff- und Papierindustrie-Ausbaustufe 1: Papier-  
maschine. Firmenschrift der Friesike & Hoepfner  
GmbH, D 8520 Erlangen-Bruck. FHF 699/2/4/72.  
S.1-16;

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

(54) Verfahren und Vorrichtung zur Prozeßführung bei der Herstellung von Papier

(55) Zur Herstellung von Papier wird einer Papiermaschine mit Stoffauflauf ein Ausgangsstoff zugeführt, der insbesondere aus unterschiedlichen Altpapieren besteht. Gemäß der Erfindung werden an wenigstens einer Stelle Spektren von elektromagnetischer Strahlung und/oder Spektren von mechanischen Eigenschaften am Stoff und/oder am Papier zusätzlich diskrete mechanische und/oder chemische Eigenschaften gemessen. Aus den Spektren werden Zustandskenngrößen gebildet, die Zustandskenngrößen und die diskreten mechanischen und/oder chemischen Eigenschaften werden in ein Zustandsmodell eingebracht, woraus zusätzlich mit Prozeßeigenschaften ein Prozeßmodell abgeleitet wird. Das Zustandsmodell und/oder das Prozeßmodell wird zur Prozeßführung und zur Prozeßoptimierung eingesetzt.



DE 196 53 477 A 1

## Beschreibung

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Prozeßführung bei der Herstellung von Papier und auf eine Vorrichtung zur Durchführung dieses Verfahrens.

Die Herstellung von Papier einschließlich der Altpapieraufbereitung und dem Stoffauflauf stellt an die Prozeßführung, insbesondere der Prozeßführung mit Automatisierungsgeräten, erhebliche Anforderungen

Die Prozeßführung bei der Papierherstellung ist deswegen schwierig, da mechanische Papiereigenschaften wie beispielsweise Zugfestigkeit, Weiterreißfestigkeit, Flachstauchwiderstand, Ringstauchwiderstand, die Berstfestigkeit, Rupffestigkeit, Verhalten gegenüber Flüssigkeit, Bedruckbarkeit usw. erst am fertigen Produkt erfaßt werden können. Da diese Werte im Labor mit Zeitverzögerung gemessen werden, kann eine zwischenzeitliche Fehlproduktion nicht ausgeschlossen werden. Um Fehlproduktionen möglichst zu vermeiden, werden üblicherweise höherwertige Rohstoffe und Hilfsstoffe (z. B. Leimauftrag, Additive) in größerem Umfang eingesetzt, als eigentlich zur Erzielung der gewünschten Papierqualität erforderlich wäre.

Beim Stand der Technik werden häufig folgende Strategien angewandt:

- Der Prozeß wird nach Erfahrungswerten gesteuert. Regeleingriffe sind nur in geringem Umfang möglich. Die Produktqualität kann nur im nachhinein bestimmt werden. Eine große Streuung der Qualitätsparameter ist daher häufig nicht vermeidbar, insbesondere wenn die Qualität der eingesetzten Rohstoffe wie das die Alt-papiers oder die des Zellstoffes stark schwankt.
- Es wird bereits versucht, den Prozeß über online meßbare Hilfsgrößen zu regeln. Diese Strategie wird nur gelegentlich eingesetzt, da die Zahl der mit nicht zu hohen Aufwand meßbaren Hilfsgrößen begrenzt ist und zudem häufig nur ein empirischer Zusammenhang mit den Zielgrößen besteht.

Zum Einsatz der Infrarot-Spektroskopie bei der Papierherstellung sind folgende Veröffentlichungen bekannt: In der DE 195 10 009 A1 werden für ein Verfahren zur Prozeßführung einer Papiermaschine ausgewählte spektrale Kennwerte für die Messung von Produktqualitätsparametern mit neuronalen Netzen verwendet. Speziell am Beispiel des Stoffauflaufs einer Papiermaschine werden neuronale Netze eingesetzt, die an den im Labor gemessenen Produktparametern trainiert wurden. In der DE-195 10 008 A1 wird ein Verfahren zur Prozeßführung bei der Zellstoff- und Papierherstellung beschrieben, dem spektrale Kennwerte unterschiedlicher Wellenlängen zur Bestimmung der Ausgangsstoffe, zur Bewertung der Rohstoffqualität und zur Bestimmung der Produktqualität mit neuronalen Netzen und daraus abgeleiteten Korrektursignalen für die Regel- oder Steuereinrichtung verwendet. Die Anwendung erfolgt bei Holz, Holzhackschnitzel, Holzfasern und Altpapier.

Mit der WO 95/31709 A1 wird eine Vorhersage der Naßreißfestigkeit mit Hilfe von spektroskopischen Messungen an Papier oder Zellstoff unter Verwendung mathematischer Methoden vorgeschlagen. Aus der WO 93/15389 A1 sind ein Verfahren und Vorrichtung zur In-Line-Bestimmung der sog. "Freeness" von Refiner-Holzstoff bekannt: Spektrale Kennwerte von ausgewählten Wellenlängenbändern werden durch ein Rechenverfahren verarbeitet um den gewünschten Qualitätsindex "Freeness" zu erhalten. Bei der Kalibrierung werden gleichzeitig spektrale Messungen und Qualitätsmessungen durchgeführt, die Meßergebnisse werden in neue Variablen verarbeitet und die Abhängigkeit der Freeness unter

Verwendung der Hauptkomponenten-Methode bestimmt, wobei die Wellenlängen zwischen 0,1–10 µm liegen.

Davon ausgehend ist es Aufgabe der Erfindung, die Prozeßführung bei der Papierherstellung weiter zu optimieren und eine zugehörige Vorrichtung zu schaffen.

Die Aufgabe ist erfindungsgemäß mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1 gelöst. Die zugehörige Vorrichtung ist im Patentanspruch 21 angegeben.

Bei der Erfindung werden online spektroskopische Messungen im Spektralbereich von 0,1 µm bis 400 µm am Stoff oder am Papier, d. h. an einer Suspension in der Stoffaufbereitung und/oder am Stoffauflauf und/oder an der laufenden Papierbahn, durchgeführt. Die Spektren werden mit verschiedenen Rechenverfahren ausgewertet und ermöglichen eine Vorhersage der erzielbaren Papierqualität, wobei der Einfluß von Hilfsstoffen, z. B. Leim, ebenfalls in den Vorhersagemodellen berücksichtigt werden kann. Auf der Basis dieser Vorhersage kann in den Prozeß regelnd eingegriffen werden, z. B. durch Veränderung der Rohstoffmischung, Verringerung des Anteiles hochwertiger Rohstoffe, Veränderung der Mahlung oder des Zusatzes von Hilfsstoffen, z. B. von Leim. Damit kann vorteilhaftweise eine Ersparnis beim Rohstoffeinsatz bei gleichbleibender Produktqualität und eine Vermeidung von Fehlproduktionen mit minderer Qualität erreicht werden.

Neben der Vorhersage von bisher nur offline meßbaren Eigenschaften können nunmehr Eigenschaften wie Aschegehalt, Weiß, Opazität, Schmutzpunkte gemessen und/oder vorhergesagt werden, die z. Zt. online mit einer speziellen, z. Teil sehr aufwendigen Sensorik gemessen werden können. Ein wesentlicher Vorteil der Erfindung liegt in der Ersparnis dieser zusätzlichen Sensorik.

Die Erfindung ist gegenüber dem abgehandelten Stand der Technik in wesentlichen Punkten, wie der Meßort, die Meßmethode, die Verarbeitung der Spektren, und die Modellbildung weiterentwickelt.

Vorteilhaftweise erfolgt die Messung online direkt an der Suspension in der Stoffaufbereitung oder an einer mit Hilfe eines Probennehmers gewonnenen Stoffprobe. Die Stoffprobe kann in gewünschter Weise aufbereitet werden, z. B. durch Aufkonzentrieren, Trocknen und/oder Bildung eines Probenblattes. Bei Bildung eines Probenblattes ist eine anschließende Labormessung der Papiereigenschaften möglich, z. B. um die Qualität der Vorhersagen kontrollieren zu können und um gegebenenfalls die Modelle für Qualitätsparameter zu verbessern, wenn z. B. wichtige Prozeßgrößen wie die Rohstoffqualität sich ändern oder der Prozeßablauf geändert wurde. Alternativ oder parallel kann auch eine Messung an der laufenden Papierbahn erfolgen, z. B. vor der Trockenpartie oder am Ende der Papiermaschine vor dem Tambour.

Die Messung mit elektromagnetischen Wellen kann beispielsweise im Wellenlängenbereich von 0,2 µm bis 10 µm erfolgen. Gemessen werden können die Absorptions-, Emissions-, Lumineszenz- oder Raman-Spektren der Stoffproben. Die Absorptionsspektroskopie kann in Transmission, diffuser Reflexion oder streifenden Totalreflexion (ATR) erfolgen. Die Anregung der Lumineszenz kann z. B. durch die Einstrahlung von elektromagnetischer Strahlung erfolgen, z. B. UV-Strahlung, oder durch eine spezifische chemische Reaktion wie Chemolumineszenz od. dgl., erfolgen. Die Anregung der Emission kann z. B. durch Bestrahlung mit Elektronen erfolgen. Bei Messung im Bereich des Infraroten (IR: 800 nm bis 20 µm) kann vorzugsweise die Fourier-Transformations-Spektroskopie (FTIR) eingesetzt werden. An inhomogenen Stoffproben kann die spektroskopische Messung mehrfach, d. h. durch mehrfache Probenahme oder verschiedene Meßorte auf Probenblättern, erfolgen.

Die Spektren können durch folgende Maßnahmen vorverarbeitet werden:

- durch Fourier-Transformation
- bei der Messung der Absorption durch diffuse Reflexion Umrechnung in Kubelka-Munk-Einheiten und Korrektur von Mehrfachstreueffekten
- durch Normierung und Glättung der Spektren
- durch Ermittlung von für die Modellbildung ungeeigneten Spektren. Bei der Modellierung der z. B. mechanischen Papereigenschaften sind Spektren, die z. B. an Schutzpunkten, z. B. Farbreste im Altpapier usw., gemessen wurden, ungeeignet und müssen verworfen werden. Die Diskriminierung ungeeigneter Messungen kann z. B. durch Vergleich mit Referenzspektren erfolgen.
- Bei mehreren Spektren zu einer Probennahme durch Bildung von Mittelwerten.

Nach diesen ersten Verarbeitungsschritten werden aus Spektren (ganz oder abschnittsweise) folgende rechnerische Verfahren zur Ermittlung von Kennzahlen angewandt:

- Hauptkomponentenanalyse (PCA), bei dem eine Beschreibung der Spektren durch die Hauptkomponenten erfolgt
- Partial Least Square (PLS)-Verfahren
- Analytische Beschreibung des Spektrum, z. B. im Bereich des IR durch Lage, Intensität und Breite der wichtigsten Absorptions- oder Emissionspeaks, Ermittlung dieser Größen z. B. mit einfachen Minimum/Maximum-Verfahren oder der 2. Ableitung.

Die Kennzahlen werden zur Modellierung der gewünschten Qualitätsparameter herangezogen.

Die Modelle für Berechnung der Qualitätsparameter können bei ausreichend großer Zahl von Daten vorzugsweise Neuronale Netze, Fuzzy-Systeme oder Multilineare Regressionsmodelle bzw. Kombinationen daraus sein. Alternativ zu rein datengetriebenen Modellen sind auch kombinierte Modelle möglich, bei denen analytisches Wissen eingebracht wird, z. B. daß mit steigendem Aschegehalt des Rohstoffes die mechanischen Qualitätsparameter des daraus erzeugten Papiers sich verschlechtern. Zur Erhöhung der Vorhersagegenauigkeit ist es sinnvoll, z. B. fünf bis zehn Teilmodelle zu bilden, deren Zuordnung z. B. über die eingesetzten Rohstoffe erfolgen kann.

Die Aufstellung der Modelle, d. h. Auswahl der Modelleingangsgrößen erfolgt mit Labormessungen am Zwischen- und Endprodukt. Die in der Spektrenvorverarbeitung integrierte "Novelty Detection" kann im laufenden Prozeß rechtzeitig die Notwendigkeit einer neuen Trainingsphase anzeigen.

Durch geeignete analytische Vorverarbeitung ist auch die Modellierung von analytisch schwer beschreibbaren Zusammenhängen möglich.

Weitere Einzelheiten und Vorteile der Erfahrung ergeben sich aus der nachfolgenden Figurenbeschreibung von Ausführungsbeispielen anhand der Zeichnung. Es zeigen

Fig. 1 ein Schema der Meßsignalaufnahme bei der Papierherstellung mit den daran angeordneten Meßstellen für Spektren,

Fig. 2 Spektren von Messungen bei einer Anlage gemäß

Fig. 1 in zwei Alternativen,

Fig. 3 ein Zustandsmodell für die Qualitätsparameter bei einer Papiermaschine,

Fig. 4 ein Prozeßmodell des sogenannten CMT-Wertes der Mischung bei der Altpapieraufbereitung,

Fig. 5 ein Prozeßmodell des CMT-Wertes des Papiers,  
Fig. 6 ein dynamisches Prozeßmodell für den CMT-Wert,  
Fig. 7 den schematischen Aufbau einer Prozeßoptimierung zum Steuern der Papierherstellung,

Fig. 8 eine Variante von Fig. 7 unter Einbeziehung des dynamischen Modells gemäß Fig. 6,

Fig. 9 die Vorverarbeitung und Verdichtung der Spektren und

Fig. 10 eine Vorrichtung zur optimierten Prozeßführung der Papierherstellung.

Die Figuren werden nachfolgend teilweise gemeinsam beschrieben. Gleiche bzw. gleichwirkende Teile haben entsprechende Bezugszeichen.

In der Fig. 1 ist ein Meßstellenschema für die Papierherstellung dargestellt, bei dem die Herstellung des Papiers unter ausschließl. Einsatz von Altpapier erfolgt. Dafür ist in der Fig. 1 eine Mischbütte mit 10 bezeichnet, der drei Altpapierarten über einen Pulper 1, einen Pulper 2 und einen Pulper 3 zugeführt werden. Den Pulpern 1 bis 3 folgen jeweils Einheiten zur Stoffaufbereitung 11 bis 13. Von der Mischbütte wird der aufbereitete Stoff in die Papiermaschine 15 gegeben, die Papiermaschine gibt eine durchlaufende Papierbahn 200 aus.

In der Fig. 1 ist das Meßstellenschema der Altpapieraufbereitung im einzelnen dargestellt. In den Massestrom  $m_1$ ,  $m_2$  und  $m_3$  des aufbereiteten Stoffes sind jeweils drei Meßstellen für Spektren A, B, C eingebracht. Nach der Mischbütte wird ein Spektrum D am Strom  $i_m$  abgenommen. Weitere Spektren E und F können an der Papiermaschine einerseits und am Papier andererseits aufgenommen werden.

Für die Prozeßsteuerung sind zunächst die Meßwerte in dem Stoffstrom von Bedeutung. Dafür wird nach den Sortier- und Reinigungsstufen vor dem Stoffauflauf ein Probennehmern installiert. In diesen Probennehmer wird ein Probenblatt gebildet, daß auch anschließend für weitere Labormessungen benutzt werden kann. In dem Probennehmer ist ein FTIR-Spektrometer integriert, mit dem unter Ausschluß der Luftfeuchtigkeit, z. B. durch Stickstoffspülung im Vakuum, im Bereich des MIR (2,5–10  $\mu\text{m}$ ) das Probenblatt mehrfach, beispielsweise 10–20 Spektren, an verschiedenen Meßorten in Transmission oder diffuser Reflexion (DRIFT) spektroskopiert wird (Zahl der Scans je Messung: 100–200). Bei DRIFT – Messungen wird das Spektrum anschließend in Kubelka-Munk Einheiten umgerechnet.

In Fig. 2a kennzeichnet 21 den Verlauf eines IR-Spektrums von Papier. Dabei ist speziell ein Ausschnitt gemäß Fig. 2b mit dem Aschebereich des Spektrums von Bedeutung. In Fig. 2c ist dagegen das Spektrum einer Faserlängenverteilung dargestellt, wie es sich aus einer beispielhaften Messung der mechanischen Eigenschaften ergibt. Es ergibt sich entlang der Grenzlinie der Balkendarstellung ein Verlauf entsprechend in etwa einer sogenannten Bernoulli-Verteilung. Die Verteilung der Siebtraktionen hat einen ähnlichen Verlauf.

Die anhand der Fig. 2a bzw. 2b erhaltenen Spektren werden mittels unterschiedlichster mathematischer Methoden aufbereitet. Dabei geht es im wesentlichen um eine Vorverarbeitung der Spektren, um eine Aufbereitung der Spektren, um das Einbringen von analytischem Wissen, um eine mögliche Ausreißerkennung und der anschließenden Modellbildung zur bestimmungsgemäßen Ableitung von Steuergrößen.

Die gemessenen Spektren werden zunächst geglättet und normiert (Minimum/Maximum Normierung). Dabei werden die optischen Spektren gemäß Fig. 2a in z. B. drei Teilspektren aufgeteilt, den "OH - Bereich" ( $3800$ – $2600 \text{ cm}^{-1}$ ), den "Fingerprintbereich" ( $2600$ – $600 \text{ cm}^{-1}$ ) und den "Aschebereich" ( $3700$ – $3600 \text{ cm}^{-1}$ ).

"OH-Bereich" und "Fingerprintbereich" werden jeweils für sich normiert. Der OH-Bereich auf das Minimum bei z. B.  $3750\text{ cm}^{-1}$  und das Maximum bei  $3420\text{ cm}^{-1}$ , der Fingerprintbereich auf das Maximum bei  $2900\text{ cm}^{-1}$  und das Minimum bei  $1920\text{ cm}^{-1}$  normiert. Der Bereich zwischen 3700 und  $3600\text{ cm}^{-1}$  wird für die folgende Verarbeitung einer Basislinienkorrektur unterworfen. Mit einem Minimum - Maximum Verfahren und der 2. Ableitung werden die Absorptionsmaxima als Peaks in den Spektren ermittelt, wobei Peaklage, Peakintensitäten, Peakbreite erfaßt werden. Als Peaklage brauchbar identifizierte Spektren werden zur Mittelwertbildung herangezogen.

Aus den "Aschebereich" wird auf der Basis der Peaktabelle der Aschegehalt berechnet. Dieser wird zum einen als eine der direkten Qualitätsparameter des Produktes abgespeichert. Zum andern wird der Wert als eine der Eingangsgrößen für die Modellbildung herangezogen.

Um die Modellierung flexibler zu gestalten und um die Vorhersagegenauigkeit zu erhöhen, werden 10 Stoffklassen basierend auf der Stoffzusammensetzung gebildet. Die Zuordnung erfolgt durch Vergleich der Peaktabellen im "Fingerprintbereich" mit gespeicherten Referenztabellen.

Idealerweise sollte für ein einziges Blatt jede Messung nur zu einer Stoffklasse zugeordnet werden können. Können mehr als drei Stoffklassen zugeordnet werden, gibt das System Alarm, da die Stoffmischung offensichtlich sehr inhomogen ist.

Weicht der Stoff nur wenig von den bekannten Zusammensetzungen ab, ist aber noch nicht dem System bekannt, wird das Spektrum zur Auswertung herangezogen. Das System gibt jedoch eine Meldung aus, daß eine erneute Nachmessung der Qualitätsparameter im Labor für eine neue Lernphase erforderlich ist.

Wenn das gemessene Spektrum stark von den Referenzen abweicht, ist die Messung z. B. an einem Schmutzpunkt erfolgt. Das Spektrum wird dann nicht für die weiteren Berechnungen herangezogen, jedoch zu Dokumentationszwecken abgespeichert. Stellt sich heraus, daß ein zu großer Anteil der Messungen z. B. 25% verworfen werden müssen, dann gibt das System Alarm, da z. B. ein Fehler in den vorausgehenden Sortier- und Reinigungsstufen vorliegen kann.

Die berechneten Mittelwertspektren werden anschließend getrennt nach "OH-Bereich" und "Fingerprintbereich" und einer Zerlegung in ihre Hauptkomponenten unterworfen. Mit z. B. einer multilinear Regression werden mit Hilfe von ausgewählten Hauptkomponenten als Eingangsgrößen die erreichbaren Qualitätsparameter, z. B. die Berstfestigkeit, der CMT oder die Reißlänge vorhergesagt. Für jeden zu berechnenden Qualitätsparameter sind eigene Modelle zu erstellen. Zur Erhöhung der Vorhersagegenauigkeit werden für jeden Parameter 10 Teilmodelle gebildet. Die Zuordnung zu den Teilmodellen erfolgt auf der Basis der Zuordnung der Messungen zu Stoffklassen während der Vorverarbeitung. Bei einer Zuordnung von bis zu drei Stoffklassen zu Messungen an einem Blatt, können entsprechende Kombinationsmodelle berechnet werden, z. B. lineare Mischung der Modelle entsprechend dem Anteil der Stoffklasse im Blatt. Die vorhergesagten Werte sind als Ergebnis eines Kombinationsmodells zu kennzeichnen.

Auf der Basis dieser Information ist es möglich, die Rohstoffzusammensetzung zu optimieren oder den Einsatz von Hilfsstoffen, wie insbesondere von Leim, zu regeln.

In Fig. 3 bedeuten 30 ein Zustandsmodell der Papiermaschine, aus dem im wesentlichen die Qualitätsparameter für Papier wie Faserlänge, Reißlänge, Berstdruck, Durchreißfestigkeit und dgl. abgeleitet werden. Dazu werden aus Spektren gemäß Fig. 2a und/oder Fig. 2b entweder mit der sogenannten Hauptkomponentenanalyse (PCA = principal comp-

ponent analysis) oder mit der sogenannten PLS-Methode (partial least square) Kenngrößen ermittelt und in das Modell eingegeben. Dargestellt sind beispielsweise die Kenngrößen PC1 bis PCn, die mit 10 Scores ermittelt wurden. Weiterhin werden auch diskrete mechanische oder chemische Eigenschaften ausgewählt und in das Modell 30 eingegeben. Mit einer zusätzlichen Eingabe der Prozeßeigenschaften wird aus dem eigentlichen Zustandsmodell ein Prozeßmodell.

In Fig. 4 ist speziell ein Prozeßmodell 40 für die Altpapieraufbereitung als Teilprozeß bei der Papierherstellung dargestellt. Eingegeben werden hier für die einzelnen Altpapieraufbereitungslinien jeweils der Durchfluß, das optische Spektrum und die Faserlängenverteilung, wobei speziell gemäß Fig. 3 vorgegangen wird. Als Ergebnis liegt der sogenannte CMT-Wert der Altpapiermischung vor.

Gleichermassen ist in Fig. 5 ein Prozeßmodell 50 der Papiermaschine dargestellt, bei dem die Eingangsgrößen, der Durchfluß, das optische Spektrum, das mechanische Spektrum der Faserlängenverteilung, die Leimmenge und die Temperatur des Leimes gewählt werden. Hier ergibt sich als Ausgangsgröße der CMT-Wert des Papiers, der Berstdruck, die Reißlänge und andere signifikante Größen.

In Fig. 6 ist dargestellt, daß bei einer dynamischen Vorgabe der Eingangsgrößen im Zustand  $k, \dots, k-n$  und zusätzlich vorher bekannten CMT-Werten im Zustand  $k, \dots, k-n$  durch ein dynamisches Prozeßmodell 60 der Papiermaschine sich die zeitlich variablen Werte wie CMT-Wert, Berstdruck und Reißlänge für Papier im Zustand  $k+1$  ergeben.

Die vorhandenen Größen werden zur Prozeßführung eingesetzt. Dafür ist in Fig. 7 der Prozeß allgemein mit 70 bezeichnet, woraus sich der aktuelle Prozeßzustand anhand der Spektren mit 71 ergibt. Das Prozeßmodell ist hier mit 72 bezeichnet, aus dem die Daten in eine Einheit zur Kostenfunktion 73 gegeben werden, die gleichzeitig mit Daten für Kosten und Preise aus der Einheit 74 beaufschlagt wird. Ein Optimierer 75 ermittelt daraus die Stellgrößen 76, die in das Prozeßmodell 72 zurückgekoppelt werden und weiterhin die optimalen Stellgrößen 77 zur Prozeßführung. Diese können über einen Schalter 78 vom Anlagenfahrer eingegeben werden, sofern sie als sinnvoll erkannt werden.

Entsprechendes ergibt sich aus Fig. 8 für eine Prozeßführung, bei der gleichermassen ein dynamisches Modell entsprechend der Fig. 6 verwendet wird. Hier ist zusätzlich eine Einheit 79 mit dem dynamischen Modell vorhanden, in die der aktuelle Prozeßzustand einerseits und die optimalen Stellgrößen andererseits eingegeben werden.

In Fig. 9 ist dargestellt, daß eine Einheit 91 zur Vorverarbeitung und Verdichtung des Gesamtspektrums dient, aus dem entsprechend Einheit 92 die Kenngrößen berechnet werden. Die Kenngrößen fließen in das Zustandsmodell 93 und in das Prozeßmodell 94 ein, wobei zusätzlich diskrete mechanische und/ oder chemische Eigenschaften und die Prozeßzustandsbeschreibung das Zustandsmodell zum Prozeßmodell ergänzen. Vom Zustandsmodell 93 wird der Qualitätsparameter für den Faserstoff und aus dem Prozeßmodell 94 der Qualitätsparameter für das Endprodukt abgeleitet.

Fig. 10 zeigt, wie die anhand eines Digitalrechners 105 mit entsprechender Auswerte- und Optimierungsssoftware in das gesamte Prozeßleitsystem eingebunden wird. Dabei werden optimierte Stellgrößen erzeugt, die ein bekanntes Automatisierungsgerät 100 als Prozeßleitsystem beaufschlagen, das in sich bekannter Weise mit der eigentlichen Anlage zur Durchführung des Prozesses in Wechselwirkung steht. Im Prinzip werden also die üblichen Anlagen durch mehrere Spektrometer 101 bis 103 und ein zugehöriges

Software-Paket, das auf üblichen Rechnern abläuft, ergänzt.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Prozeßführung beim Herstellen von Papier aus Faserstoff, insbesondere Altpapier und/oder Zellstoff, mit folgenden Verfahrensschritten:
  - an mindestens einer Stelle werden Spektren von elektromagnetischer Strahlung und/oder Spektren von mechanischen Eigenschaften am Stoff oder am Papier gemessen,
  - an mindestens einer Stelle werden diskrete mechanische und/oder chemische Eigenschaften des Stoffes erfaßt,
  - durch Auswertung der Spektren werden Kenngrößen für den Stoff gebildet,
  - aus den Kenngrößen und den diskreten mechanischen und/oder chemischen Eigenschaften wird ein Zustandsmodell und/oder zusätzlich mit den Prozeßeigenschaften ein Prozeßmodell abgeleitet,
  - das Zustandsmodell und/oder das Prozeßmodell wird zur Prozeßführung und zur Prozeßoptimierung eingesetzt;
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Wellenlänge der elektromagnetischen Strahlung zwischen 100 nm und 400 µm liegt.
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die elektromagnetische Strahlung in Absorptions-, Emissions-, Luminiszenz- oder als Raman-Spektrum erfaßt wird.
4. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die elektromagnetische Strahlung in Transmission, direkter oder diffuser Reflexion oder streifender Totalreflexion erfaßt wird.
5. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß als Spektren der mechanischen Eigenschaften die Faserlängenverteilung oder die Siebfractionen der Fasern herangezogen werden.
6. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß an einer Anzahl von Spektren eine Hauptkomponentenanalyse durchgeführt wird und zur Datenreduktion vorzugsweise 3 bis 10 sog. Scores ausgewählt werden und daß daraus die Kenngrößen für die Modellierung ermittelt werden.
7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß eine PCA- oder PLS-Analyse durchgeführt wird.
8. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß für die Modellbildung ungeeignete Spektren durch Plausibilitätsprüfung eliminiert werden.
9. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß zur Papierherstellung Altpapier aus mindestens einer Altpapierlinie verwendet, wobei die Anzahl von parallel geschalteten Altpapierlinie nicht begrenzt ist.
10. Verfahren nach Anspruch 1 oder Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Messung der Spektren am Ausgang der Altpapieraufbereitung und/oder nach Stoffmischung und/oder im Papierbereich erfolgt.
11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß die durch Auswertung der Spektren erhaltenen Kenngrößen zur Steuerung und/oder Regelung der Aufbereitungsstufen herangezogen werden, wobei die Aufbereitungsstufen einzeln oder auch im Verbund optimiert werden.
12. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß zur Steuerung und/oder Regelung der Aufbereitungsstufen die Qualitätsparameter des aufbereiteten

Stoffes, wie insbesondere die Weiße, Schmutzpunkte, Reißlänge, modelliert werden.

13. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Modellansätze neben der Vorhersage der Produktqualität auch zur Berechnung des Einsatzes der Hilfsstoffe, wie Füllstoff oder Chemikalieneinsätze, herangezogen werden.
14. Verfahren nach Anspruch 12, wobei eine Steuerung und/oder Regelung der Papierherstellung erfolgt, dadurch gekennzeichnet, daß der Modellansatz mit den Qualitätsparametern in einer Prozeßoptimierung eingesetzt wird.
15. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß eine Kostenfunktion gebildet wird, die mit einem Optimierer durch geeignete Variation der Stellgrößen optimiert wird.
16. Verfahren nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß die Optimierung durch genetische Algorithmen erfolgt.
17. Verfahren nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß die Kostenfunktion eine Kostenfunktion für die Produktionskosten und/oder eine Gewinnfunktion ist.
18. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß ein dynamisches Modell zur Überprüfung der durch ein statisches Modell optimierten Stellgrößen eingesetzt wird, wobei das eingesetzte dynamische Modell ein neuronales Netz ist.
19. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Spektren vorverarbeitet und verdichtet werden, wobei spezifische Maßzahlen der Spektren, wie z. B. die Hauptkomponenten, zur Beschreibung des Produktzustandes dienen und unmittelbaren Eingang in das Prozeßmodell finden.
20. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Spektren durch ein Zustandsmodell so ausgewertet werden, daß am Ausgang des Modells eine Zustandsmaßzahl gebildet wird, die dann unmittelbaren Eingang in das Prozeßmodell findet.
21. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1 oder einem der Ansprüche 2 bis 20, gekennzeichnet durch wenigstens ein Spektrometer (101 bis 103), einen Digitalrechner (105) zur Auswertung der Spektren und zur Bildung des Zustandsmodells und/oder Prozeßmodells aus Kenngrößen, den diskreten Eigenschaften und gegebenenfalls den Prozeßeigenschaften sowie aus einem Prozeßleitsystem (100), in das die des Zustands oder des Prozeßmodells optimierten Stellgrößen rückgekoppelt werden.
22. Vorrichtung nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, daß die Stellgrößen Ausgänge des Prozeßmodells (40, 50, 60) sind.

Hierzu 12 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

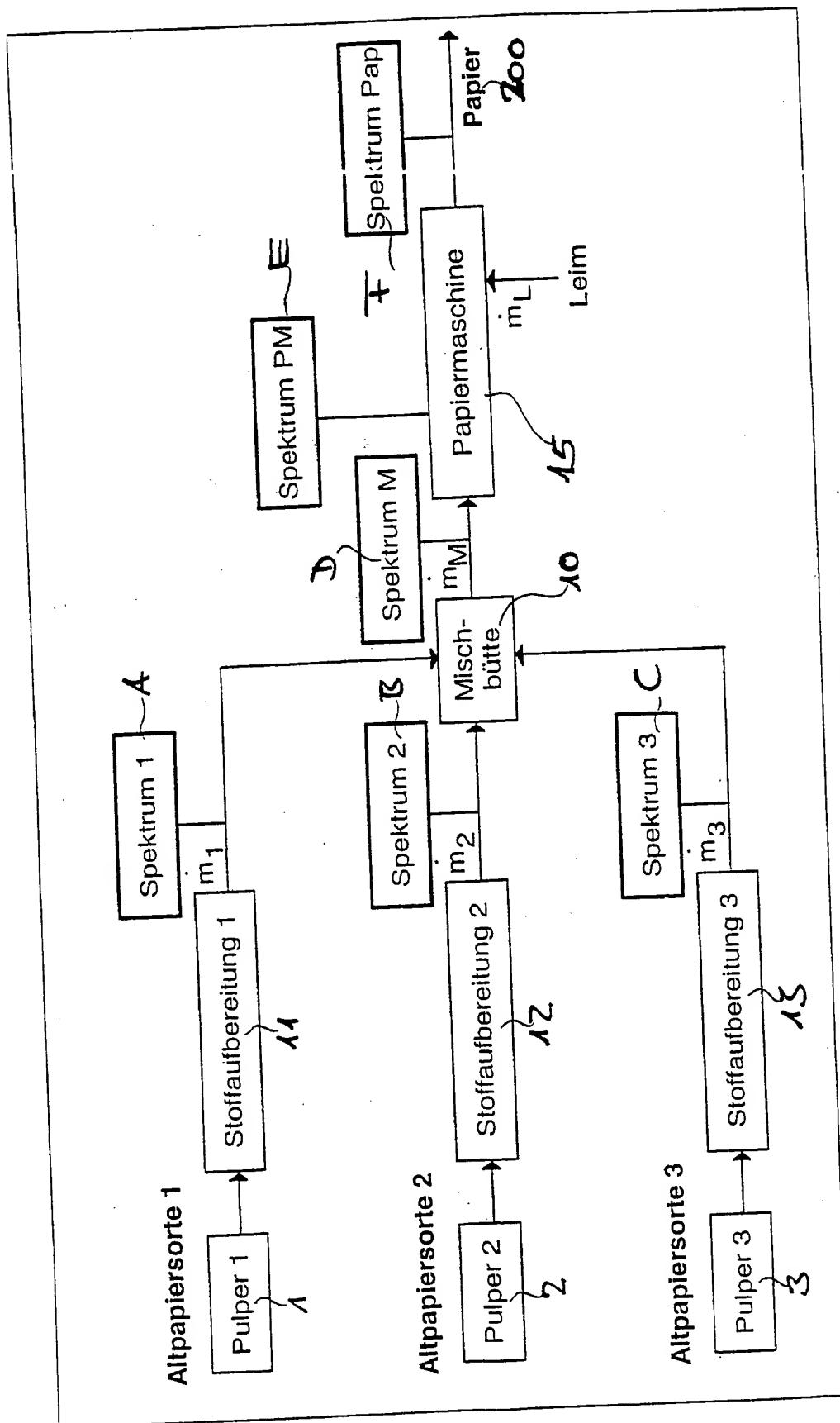


Fig. 1: Meßstellenschema der Altpapieraufbereitung

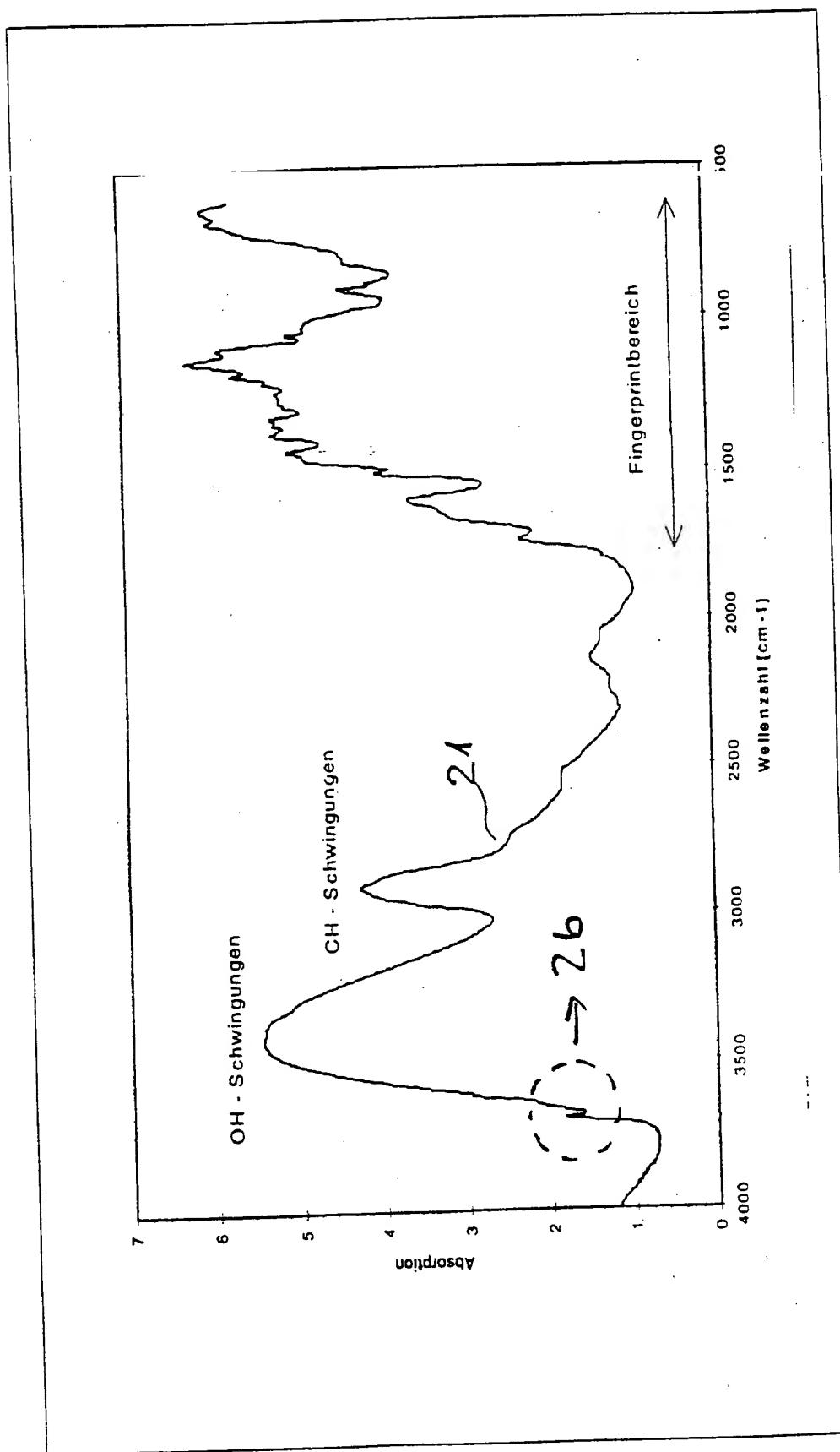


Fig. 2a: Gesamtes IR-Spektrum von Papier

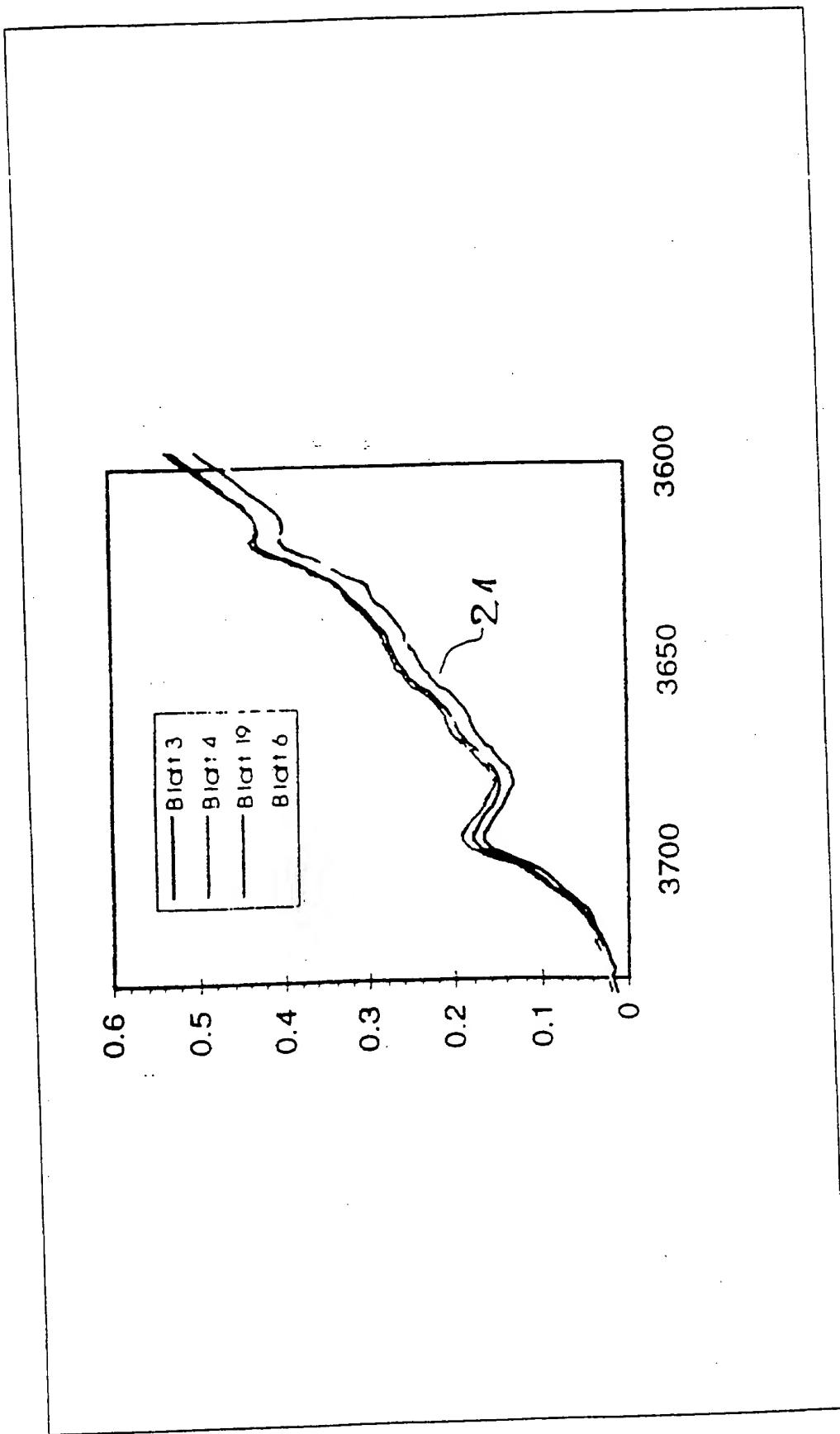


Fig. 2b: "Aschebereich" des Spektrums

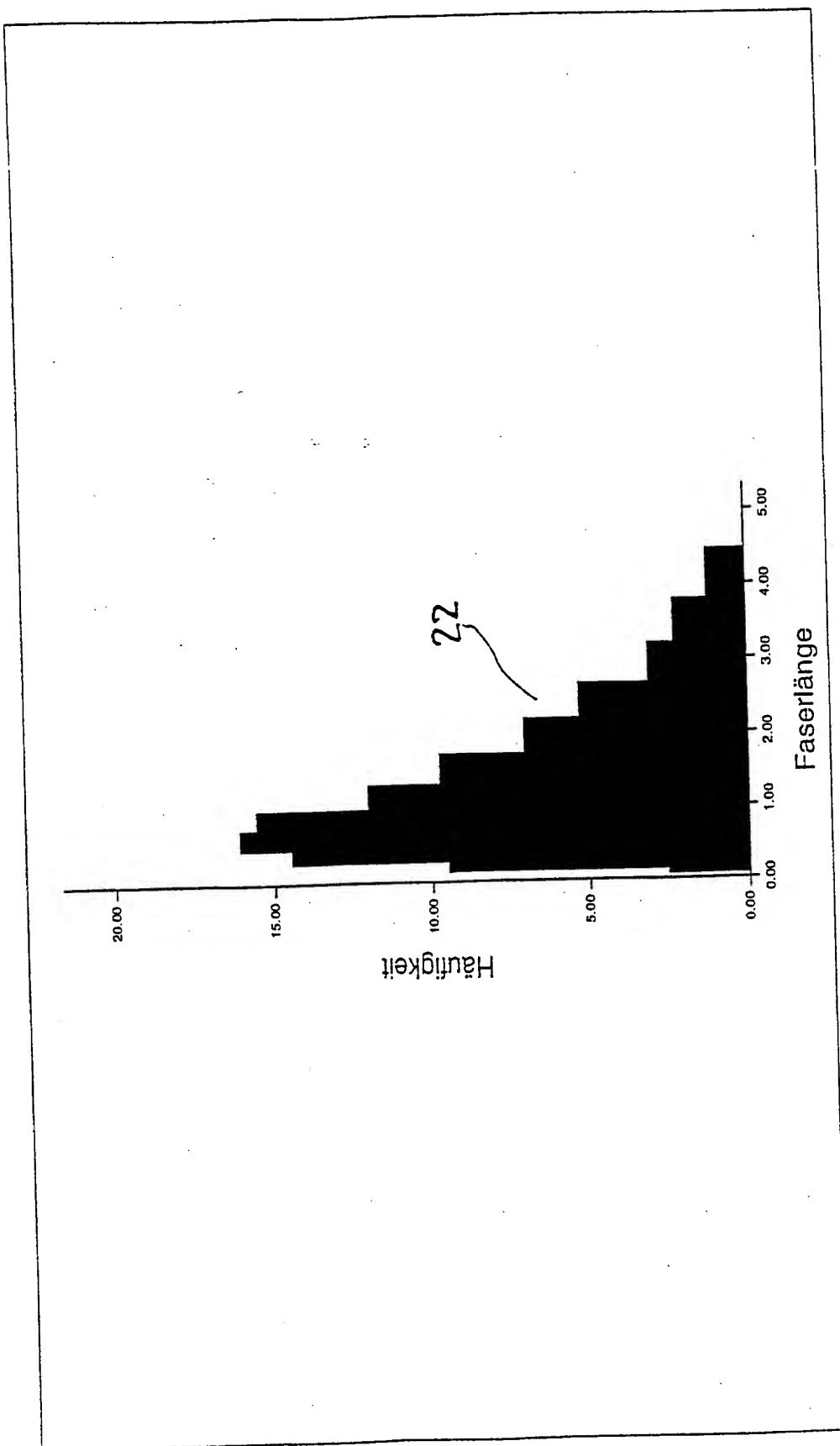


Fig. 2c: Faserlängenverteilung

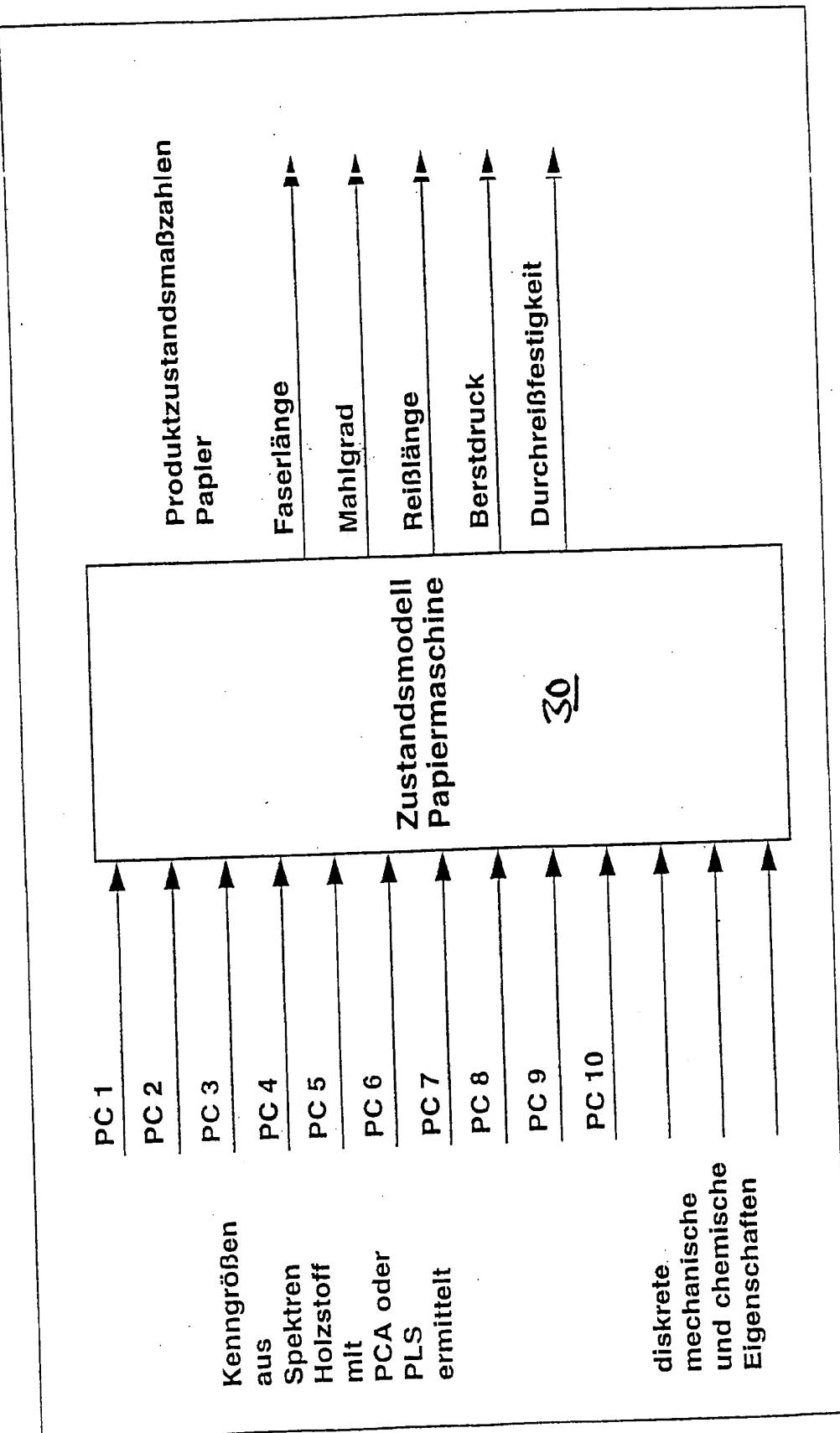


Fig. 3: Zustandsmodell der Qualitätsparameter

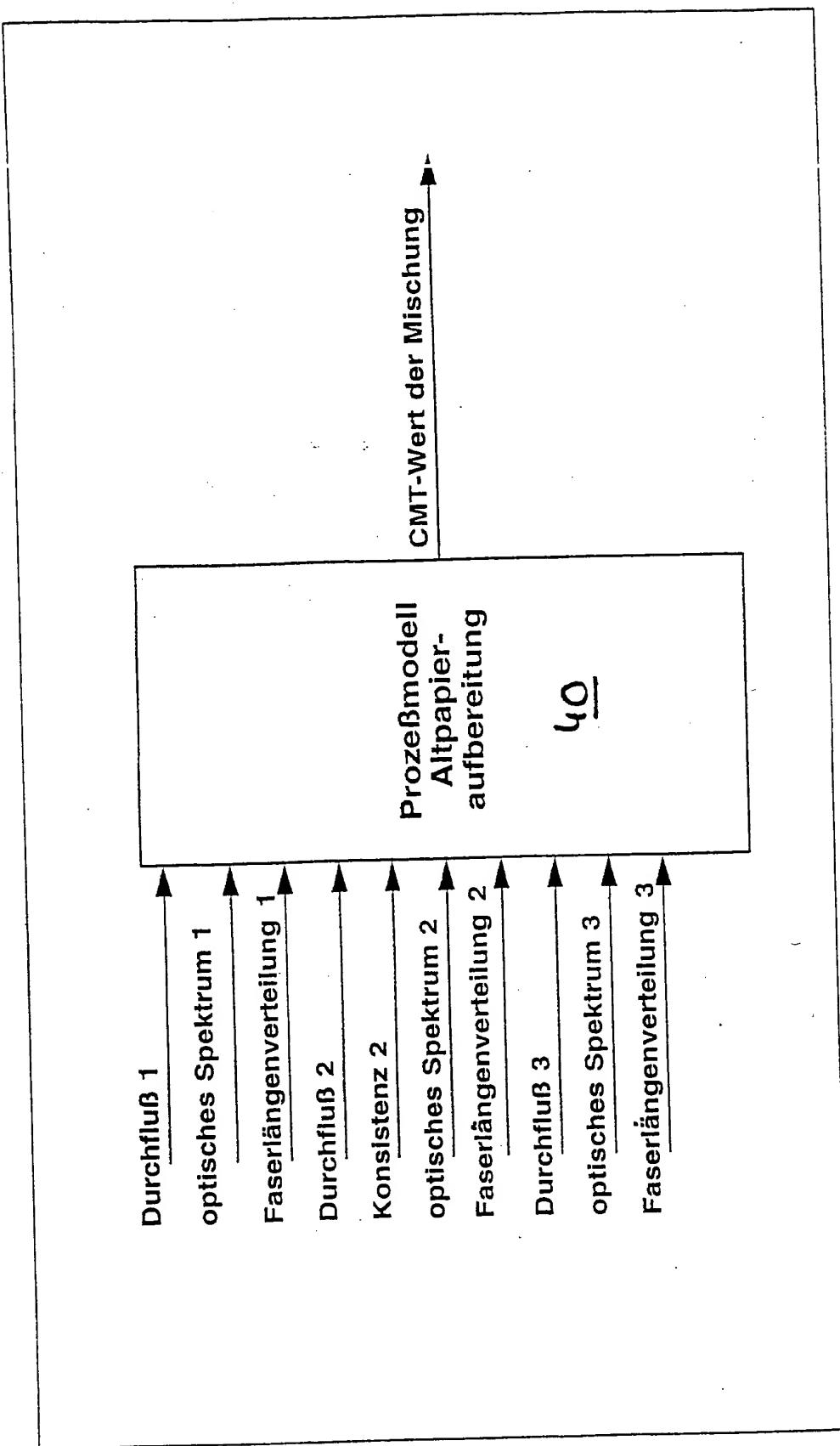


Fig. 4: Prozeßmodell des CMT-Wertes der Mischung

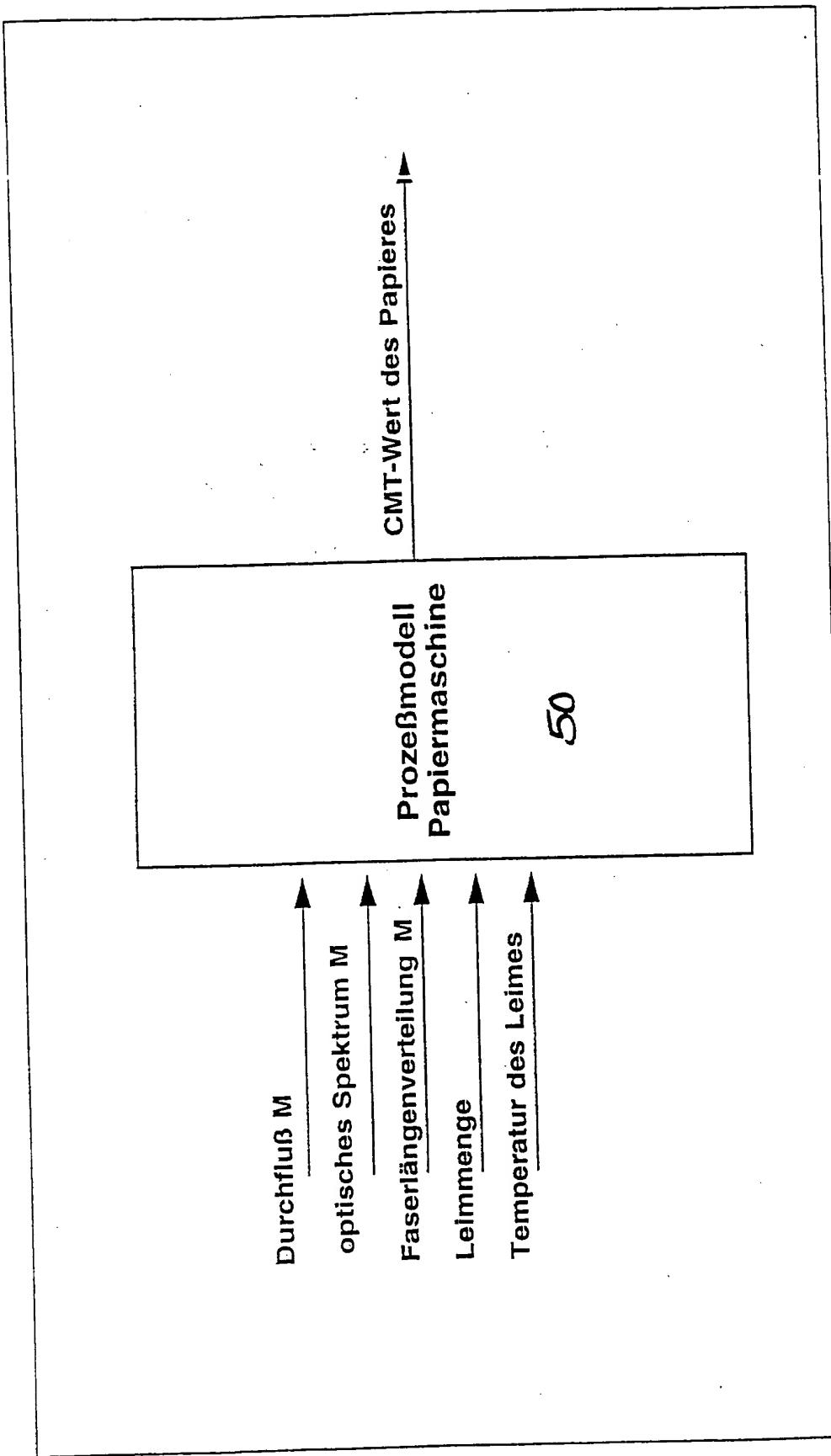


Fig. 5: Prozeßmodell des CMT-Wertes des Papiers

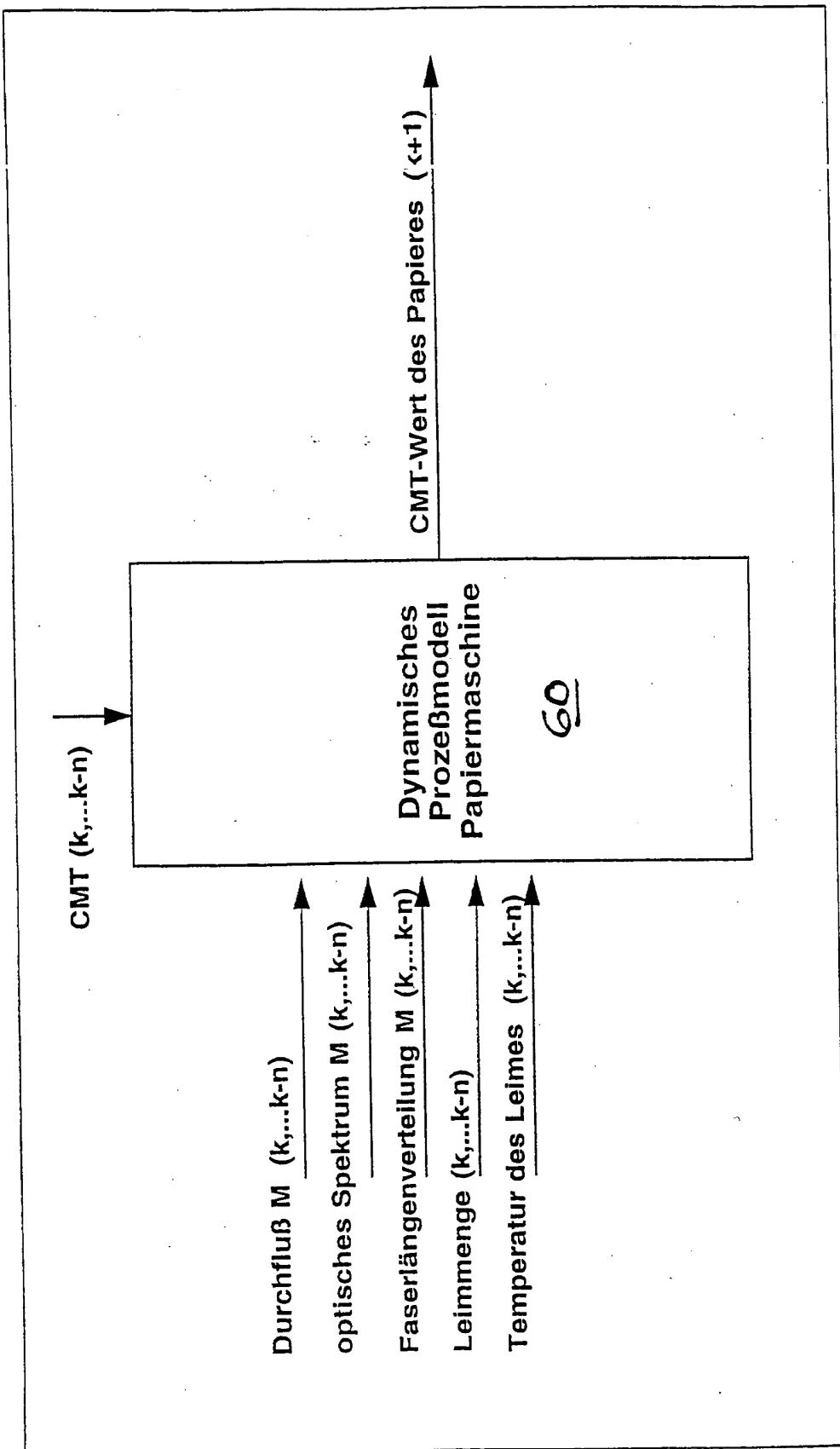


Fig. 6: Dynamisches Prozeßmodell für den CMT-Wert

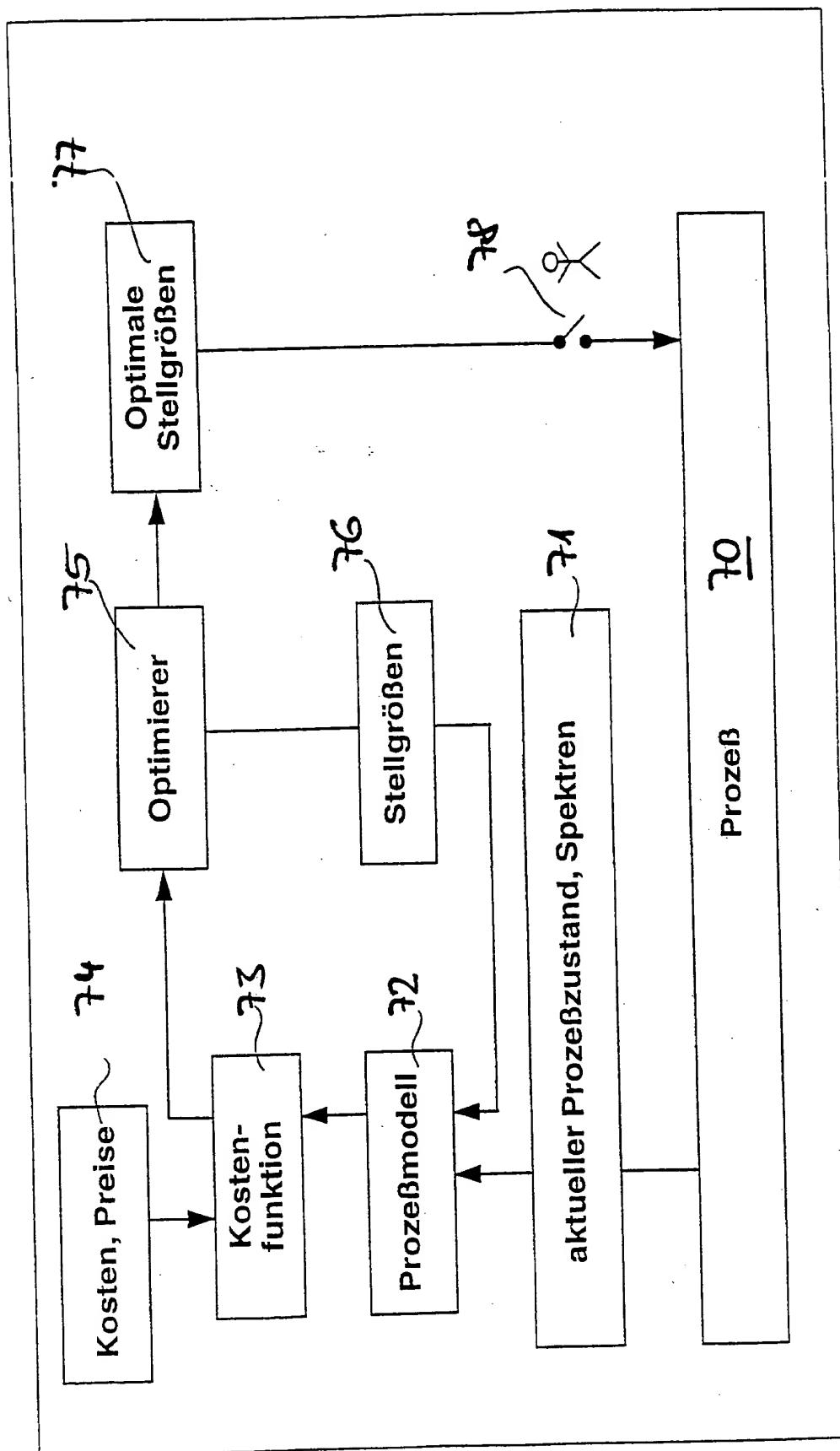


Fig. 7: Prozeßoptimierung

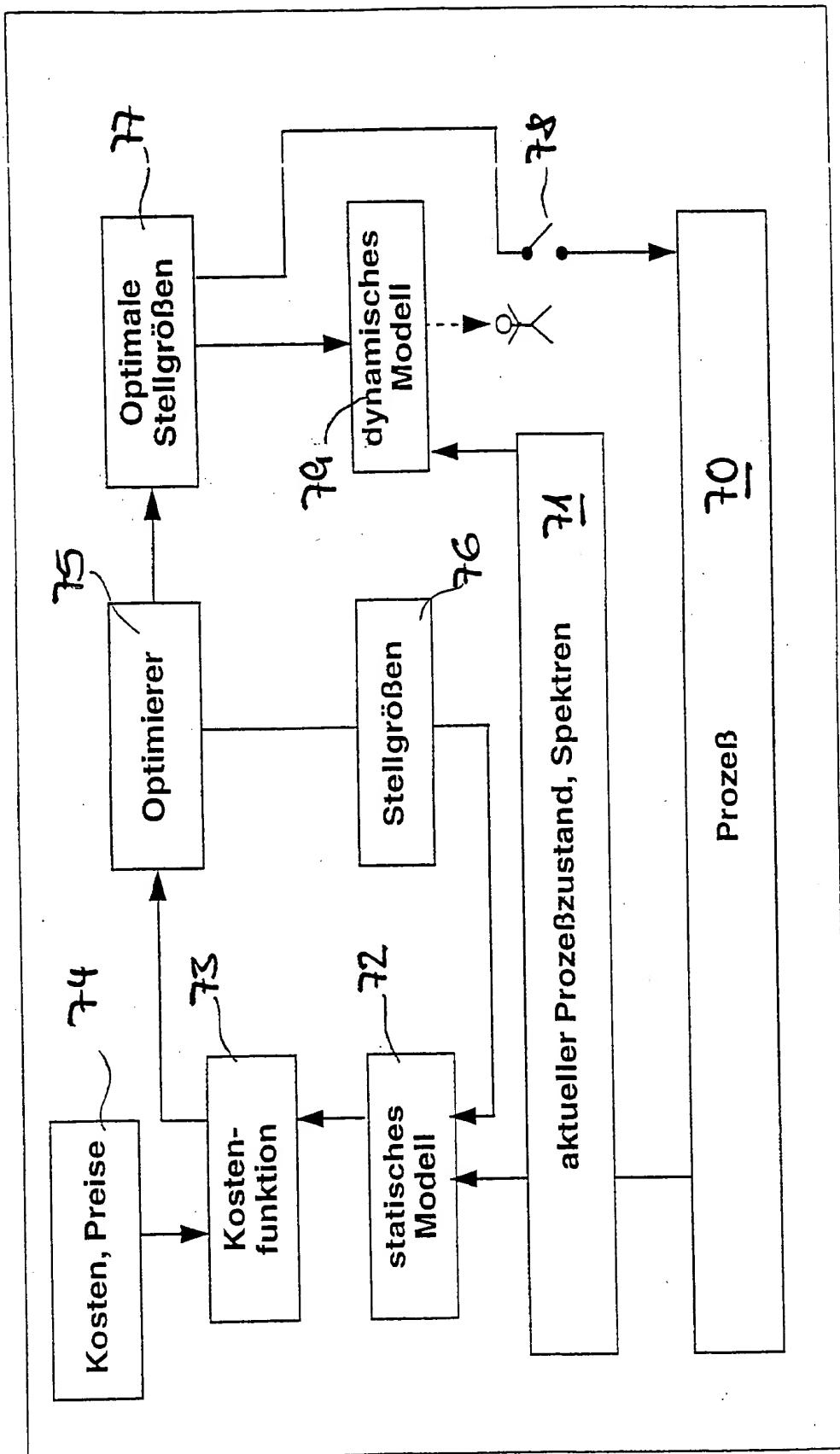


Fig. 8: Prozeßoptimierung

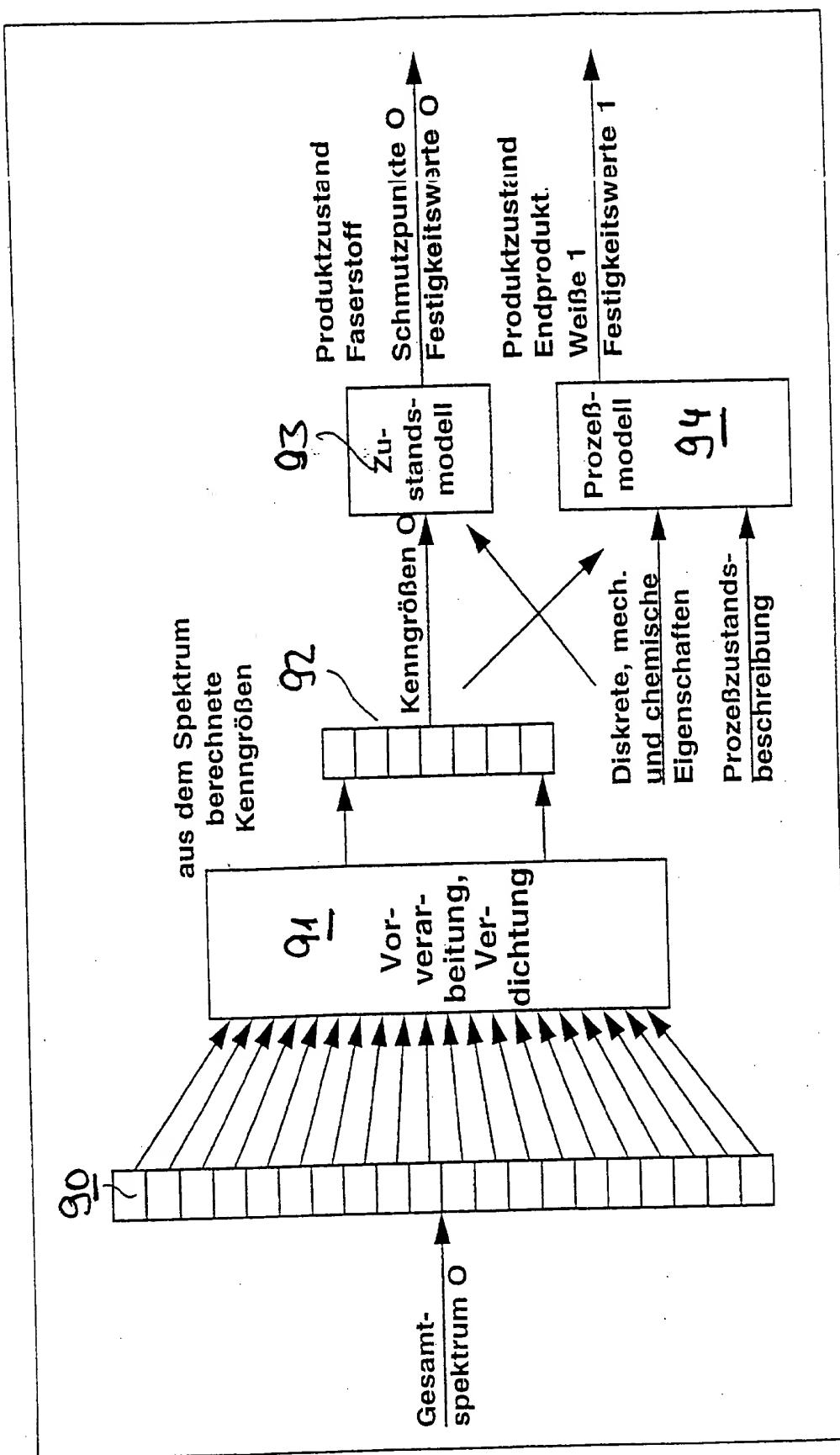


Fig. 9: Vorverarbeitung und Verdichtung der Spektren

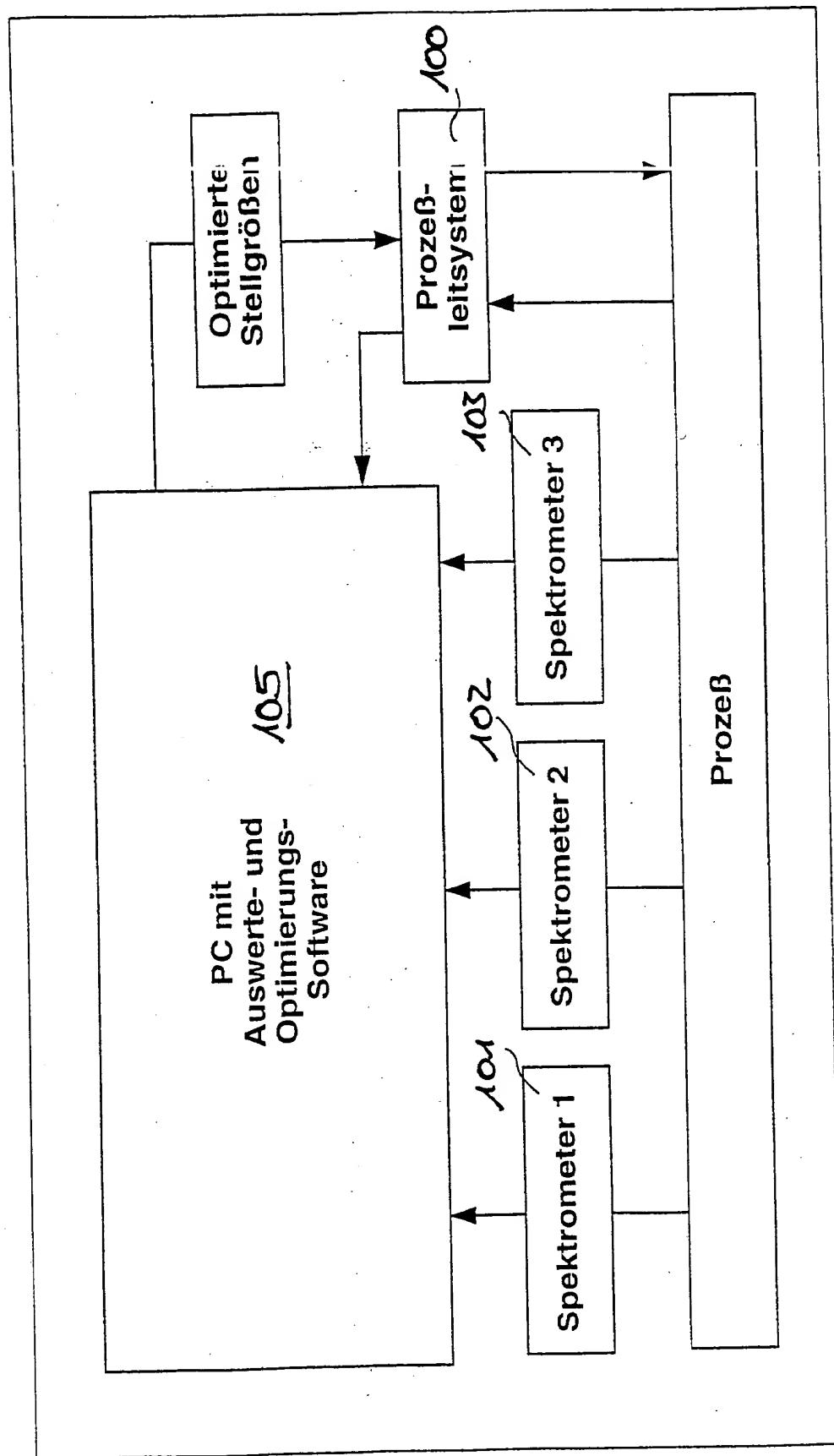


Fig. 10: Einbinden des Prozeßleitsystems